



TITLE:

相転移研究の現状と展望(基研短期
研究会『統計物理の現状と展望』
～STATPHYS19に向けて～,研究会
報告)

AUTHOR(S):

鈴木, 増雄

CITATION:

鈴木, 増雄. 相転移研究の現状と展望(基研短期研究会『統計物理の現状
と展望』～STATPHYS19に向けて～,研究会報告). 物性研究 1992, 58(5):
471-473

ISSUE DATE:

1992-08-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/94931>

RIGHT:

相転移研究の現状と展望

東大理 鈴木増雄

1. はじめに

この研究の主題は「統計力学の現状と展望」というものであるが、私の話では、相転移の研究にテーマをしぼって議論したい。

2. 相転移と臨界現象の統一的解明

相転移の理論として顕著なものを列挙すると次の通りである：van der Waals, P. Weiss, L.D. Landau, L. Néel, P.G. de Gennes 等による平均場近似、およびそれと等価な現象論である。また、臨界現象の理論としては M.E. Fisher, L.P. Kadanoff, K.G. Wilson による理論をまずあげることが出来る。さらに、最近の相転移と臨界現象の統一的理論として Coherent-Anomaly Method をあげたい。この理論は、系統的平均場近似に現れるコヒーレント異常の発見に基づく。

3. コヒーレント異常法の基本的なスキーム

どのような平均場近場近似においても、例えば、磁化率は、近似的な相転移点 T_c の近傍で

$$\chi_0(T) \simeq \frac{\bar{\chi}(T_c)}{\varepsilon} \quad ; \quad \varepsilon \equiv \frac{T - T_c}{T_c} \quad (1)$$

のようなキュリー・ワイスの法則にしたがうような古典的な振舞いを示す。この事情はクラスターのサイズを大きくして、ゆらぎを充分とり入れたクラスター平均場近似に拡張しても同じである。しかし、(1) の平均場臨界係数 $\bar{\chi}(T_c)$ に着目すると、極めて面白い事実が見出される。すなわち、近似的な相転点 T_c がその系の真の相転移点 T_c^* に近づくにつれて、 $\bar{\chi}(T_c)$ は発散する。すなわち、

$$\bar{\chi}(T_c) \rightarrow \infty \quad ; \quad T_c \rightarrow T_c^* \quad (2)$$

となる。これを「コヒーレント異常」と呼ぶ。他の応答関数に対しても、一般に同様のコヒーレント異常が現れる。今、この異常性を T_c^* の近傍で

$$\bar{\chi}(T_c) \simeq \frac{f}{(T_c - T_c^*)^\psi} \quad (3)$$

として、「コヒーレント異常指数」 ψ を導入し、いくつかの系統的な平均場近似の列から、これを評価してやれば、磁化率の真の臨界的振舞い

$$\chi_0(T) \sim \frac{1}{(T - T_c^*)^\gamma} \quad (4)$$

を特徴づける臨界指数 γ は

$$\gamma = 1 + \psi \quad (5)$$

で与えられる。これがCAM理論の基本的な関係式である。

4. 単純な一様な系の相転移から複雑な系での相転移へーエキゾティックな相転移の理論と超有効場理論

1973年のJ.M. KosterlitzとD.J. Thoulessによる2次元での渦対に伴うトポロジカルな相転移（いわゆるKT転移）の提唱の時期から、多くの研究は「Complex Systems」でのエキゾティックな相転移と関心が移って行った。1975年のS.F. EdwardsとP.W. Andersonのスピングラスの理論の出現により、フラストレートしたスピン系の研究が益々盛んになった。初期のうちは、スピングラスの相転移は、通常の相転移と全く異質で、それまでの相転移・臨界現象の理論は役に立ちそうもないと思われていたが、Landau理論の拡張である筆者の現象論に基づく非線型帯磁率の負の発散と非線型磁化のスケーリング則の提唱により、スピングラスの臨界現象の研究が活発に行なわれるようになり、現在まだ続いている。特に、磁場の存在するときにスピングラス相転移があるかどうか、すなわち、短距離相互作用のスピングラス系にAT線があるかどうかは未だ未解決の難問である。

このようなエキゾティックな相転移を一般的に扱う方法として超有効場理論が提唱された。これは、今までの有効場理論を極めて一般的に拡張し、トポロジカルな相転移の研究にも役立つようにしたものである。この理論の特徴は、可能な秩序パラメータをad hocに導入して、その有効場近似を作るところにある。いわば、物理的考察から、最も効きそうな効果をいち早く取り込んで、先読みして理

論を作り、近似の有効性を一段とよくする方法である。そのスキームが適切かどうかは、系統的な超有効場近似を作って、コヒーレント異常を調べればよい。すなわち、コヒーレント異常がよく現れておれば、最初に ad hoc に導入した秩序パラメータは物理的に妥当なものであると結論できる。そうでないときは、別な秩序パラメータを考えて、同様の議論を繰り返す。

5. 結び

最近の高温超伝導のメカニズム解明と関連してカイラルオーダーのようなエキゾチックな相転移の研究が注目されている。このような問題にも、上に述べた新しい方法、すなわち、超有効場理論とコヒーレント異常法は大いに役立つものと期待される。

今後益々複雑な系で新しいタイプの相転移が研究され、新しい展開が次から次へと見られるであろう。物理学、特に物質科学においては、相転移という概念の果たす役割は益々大きくなるものと思われる。

参考文献

- 1) 鈴木増雄「物理学最前線 29」相転移の超有効場理論とコヒーレント異常法 (共立出版、1991) およびその中の文献参照。